Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 15, No. 3, Fall 2023, p. 527-542

Evaluation of Cow Manure and Different Nitrogen Sources on Yield and Nitrogen Use Efficiency in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

Roya Saeedi[1], Azam Seyedi[2], Bahareh Parsa Motlagh[3]* and Hossein Shekofteh[4]

Received: 26-09-2021 Revised: 13-02-2022 Accepted: 22-02-2022 Available Online: 22-02-2022	**How to cite this article:** Saeedi, R., Seyedi, A., Parsa Motlagh, B., & Shekofteh, H. (2023). Evaluation of cow manure and different nitrogen sources on yield and nitrogen use efficiency in safflower (*Carthamus tinctorius* L. *Journal of Agroecology, 15(3),527-542.* DOI: 10.22067/agry.2022.72719.1068

Introduction

One of the major factors restricting the crop production is nitrogen. Nitrogen has an important role in achieving maximum yield and improves crop yield and quality (Ullah et al., 2010). In the arid and semi-arid regions of Iran, the deficiency of organic matter in the soil as the natural resource required by the plant and the moisture tension are the major factors of absorbing nitrogen, and after moisture tension, nitrogen tension is the major limiting factor of crop production (Sadri, 2017). Nitroxin fertilizer contains nitrogen-fixing bacteria that fix the air nitrogen, balance the high-consumption and micronutrient elements, synthesis and secretion plant growth stimulants, and as a result, plant protection against pathogens, biological and non-biological stresses. One way to examine the efficiency of fertilizers, especially nitrogen, is by studying nitrogen use efficiency. This indicator shows the increase in yield by each unit increase in the input (Delbert and Ulter, 1989). One way to manage different nutritional resources is to evaluate the nitrogen use efficiency. This study aims to evaluate the function and indicators of nitrogen efficiency in manure treatments and different resources of nitrogen in safflower.

Material and Methods

This experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications in the research farm of the faculty of agriculture at the University of Jiroft in 2018-2019. The first factor included different sources of nitrogen fertilizer in six levels of urea fertilizer, urea with sulfur coating, ammonium nitrate, nitroxin, nano nitrogen, and control; the second factor included animal manure in two levels of consumption and non-consumption was considered. The intra-row and inter-row distance was 30 and 10 cm, respectively, with 2×3 m^2 plot size. Drip irrigation was used, and during the different plant growth stages, no chemical pesticide and herbicide was used; nitrogen of seed, leaf, and shoot was carried out using Kjeldhal method. Data were analyzed by SAS software version 9.4. Mean values were compared according to the Duncan test at $P < 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that manure and different resource of nitrogen has a significant effect on the seed yield, seed nitrogen percentage, biomass, plant nitrogen content, the efficiency of use, physiological, absorption, productivity, and nitrogen harvest index in safflower. The highest nitrogen in seed (3.46%), biomass (1.05%), seed yield (284 $g.m^{-2}$), seed nitrogen content (1138.8 $g.m^{-2}$), and biomass nitrogen content (752.5 $g.m^{-2}$) obtained in manure + nitroxin treatment. The results indicated the positive and significant effect of manure and biological fertilizer on the improvement of yield and nitrogen efficiency. The interaction of manure and different nitrogen fertilizers on seed

1- M.Sc. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
(*- Corresponding author's Email: bparsam@ujiroft.ac.ir)

yield was significant. The highest and lowest seed yields were obtained by manure + nitroxin treatment (284 $g.m^{-2}$) and not using manure and control treatment (68.3 $g.m^{-2}$), respectively. In safflower, using nitrogen fertilizers can increase seed yield by affecting plant branches (Weiss, 2000). The researchers reported that using nitrogen, compared to control (not using nitrogen) increased safflower seed yield. According to the results, manure treatment compared to not using manure treatment showed 24.3% increase in seed nitrogen. Nitroxin and nano nitrogen fertilizers have the highest seed nitrogen percentage (3.46 and 3.21, respectively), and the lowest nitrogen was in the control treatment (1.9%). Manure + nitroxin treatment had the highest nitrogen in biomass and plant. In safflower, manure increased the absorbed nitrogen percentage compared to the control treatment (Ghanbari et al., 2016). In this regard, the researchers observed the increase in absorption efficiency and use of nitrogen in saffron using organic fertilizers compared to chemical fertilizers. The results of this research showed that using biological fertilizers, especially nitroxin, has a positive effect in increasing seed number in plant, seed yield, days to maturing, nitrogen percent, absorbed phosphorous by plant, and nitrogen physiological efficiency (Arab-Niasar et al., 2019).

Conclusion

The results of this experiment showed that using manure and biological fertilizer improves nitrogen efficiency compared to not using manure conditions. It seems that combined manure with chemical fertilizers reduces the loss and washing of nutritional elements, especially nitrogen. The use of organic fertilizers to improve soil structure, maintain water, and access to required elements by plants should be considered as a priority. Regarding the highest yield in manure + nitroxin treatment, it is suggested to use nitrogen fertilizers with biological origin.

Keywords: Biofertilizer, Nitrogen harvest index, Nitrogen percentage, Nitrogen productivity

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۵۴۲-۵۲۷

تأثیر کود گاوی و منابع مختلف تأمین‌کننده نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

رؤیا سعیدی[1]، اعظم سیدی[2]، بهاره پارسامطلق[3]* و حسین شکفته[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۳

چکیده

به‌منظور ارزیابی کود گاوی و منابع تأمین‌کننده نیتروژن بر جذب و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت اجرا شد. تیمارها شامل منابع تأمین‌کننده نیتروژن در شش سطح (کود اوره، اوره با پوشش گوگرد، نیترات آمونیوم، نیتروکسین، نانو نیتروژن و شاهد) و کود گاوی در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد، تیمار کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد دانه، درصد نیتروژن دانه، درصد نیتروژن کل بوته، محتوی نیتروژن اندام‌های مختلف گیاه، کارایی مصرف نیتروژن، کارایی فیزیولوژیک، کارایی جذب، بهره‌وری نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن گلرنگ معنی‌دار بود. بیشترین درصد نیتروژن دانه (۳/۴۶)، زیست‌توده (۱/۰۵)، عملکرد دانه (۲۸۴ گرم در مترمربع)، محتوی نیتروژن دانه (۱۱۳۸/۸ گرم در مترمربع) و محتوی نیتروژن زیست‌توده (۷۵۲/۵ گرم در مترمربع) در تیمار کود گاوی + کود نیتروکسین به‌دست آمد. همچنین، بیشترین کارایی مصرف نیتروژن (۱۱/۳ گرم بر گرم) و جذب نیتروژن (۱۲/۹۱ گرم بر گرم) در تیمار کود گاوی + کود نانو نیتروژن مشاهده شد که با تیمار کود گاوی + کود نیتروکسین تفاوت معنی‌داری نداشت. در بین منابع مختلف، نیتروژن مصرف کود گاوی و کودهای زیستی نسبت به کودهای شیمیایی شاخص بهره‌وری و کارایی مصرف نیتروژن بیشتری داشتند، از این‌رو بر اساس نتایج این پژوهش، جهت دستیابی به حداکثر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن و متعاقب آن کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌توان از کود گاوی و کودهای نیتروکسین و نانو نیتروژن جهت کشت گلرنگ در منطقه جیرفت استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری نیتروژن، درصد نیتروژن، شاخص برداشت نیتروژن، کود زیستی

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی متعلق به خانواده کاسنی[5]، گیاهی یک‌ساله که ارتفاع آن ۱۲۰-۲۰ سانتی‌متر (Tahmasbpour et al., 2017) محتوای روغن دانه حدود ۲۷ تا ۴۰ درصد، محتوای پروتئین ۱۹-۱۵ درصد و میوه‌های آن شبیه میوه‌های

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.
۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.
۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: bparsam@ujiroft.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.72719.1068

5- Asteraceae

آفتابگردان و از نوع فندقه یا آکن می‌باشد (Emongor, 2010). سازمان خواروبار کشاورزی جهانی[1] سطح زیر کشت گلرنگ در دنیا را حدود ۱/۱۴ میلیون هکتار، با تولید تقریباً ۹۵۰ هزار تن و عملکرد حدود ۸۳۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرده است (FAO, 2018). کشورهای هند، ایالات‌متحده آمریکا، مکزیک، استرالیا و اتیوپی مجموعاً ۸۵ درصد سطح زیر کشت این گیاه را به خود اختصاص داده‌اند (Damodaram & Hegde, 2002). سطح زیر کشت گلرنگ در ایران ۲۲۸۵۱ هکتار، با تولید ۱۵۹۰ تن و عملکرد حدود ۳۹۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Agricultural Iran Statistics, 2019).

نیتروژن یکی از عوامل عمده محدودکننده تولید گیاهان زراعی است. این عنصر در بهبود عملکرد و کیفیت همه گیاهان زراعی مؤثر است. در طول پنج دهه گذشته، مصرف جهانی نیتروژن تقریباً هشت برابر شده است (Wu et al., 2016) و پیش‌بینی می‌شود که مصرف کودهای نیتروژنی در سراسر جهان تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۴۲ میلیون تن برسد که ۳۷/۵ درصد افزایش نسبت به حال حاضر خواهد داشت (Motesharezadeh et al., 2017). از سوی دیگر، افزایش مصرف کود نیتروژن با کاهش کارایی مصرف نیتروژن همراه خواهد بود (Hussain et al., 2018). مطالعات بلندمدت نشان می‌دهند که استفاده بیش‌ازحد کودهای شیمیایی، عملکرد گیاهان زراعی را به‌واسطه اسیدی شدن خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی، کاهش خصوصیات فیزیکی خاک و عدم وجود ریزمغذی‌ها کاهش داده است (Adediran et al., 2004). از طرفی، افزایش رو به رشد جمعیت و مشکلات اقتصادی ناشی از هزینه کودهای شیمیایی از یک سو و مسائل زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه این کودها از سویی دیگر، سبب شده که استفاده از شیوه‌های زیستی تثبیت عناصر برای تقویت رشد گیاهان بیشتر مورد توجه قرار گیرد (; Karami Chame et al., 2016Fathi et al., 2016).

کود بیولوژیک نیتروکسین حاوی مؤثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* می‌باشد که علاوه‌بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف مورد نیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه مانند اکسین، همچنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف سبب رشد و توسعه ریشه و اندام‌های هوایی گیاه می‌گردد (Arab-Niasar et al., 2019).

پژوهشگران در تحقیقی افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ را در تیمار مصرف کود نیتروکسین نسبت به شاهد مشاهده کردند (Moghimi & Yousefi Rad., 2013). در شرایط تنش گیاه آفتابگردان استفاده از کودهای زیستی توانست به‌صورت نسبی عملکرد بیشتری را نسبت به کودهای شیمیایی و آلی حاصل کند (Izan et al., 2020).

نانو کودها جایگزین‌های مناسبی از کودهای مرسوم برای تأمین تدریجی و کنترل‌شده عناصر غذایی در خاک به‌شمار می‌روند که موجب کاهش آلایندگی مواد شیمیایی شده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است (Qureshi et al., 2018). همچنین پژوهش‌های انجام شده روی تأثیر نانو کودها در افزایش تولید محصولات کشاورزی از طریق بهبود کارایی جذب کود تأکید دارند (Scott et al., 2018).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، کمبود مواد آلی در خاک به‌عنوان منبع طبیعی نیتروژن موردنیاز گیاه و وجود تنش رطوبتی، به‌عنوان مانع اصلی جذب نیتروژن همواره مطرح بوده است (Sedri, 2017). یکی از ارکان اساسی کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی است (VtJnvnl et al., 1975). همچنین، استفاده از کودهای زیستی از مؤثرترین شیوه‌های مدیریتی برای حفظ کیفیت خاک در سطح مطلوب محسوب می‌گردد (Burelle et al., 2006 ; Fathi et al., 2013). یکی از کودهای زیستی مورد مطالعه در سال‌های اخیر، نیتروکسین است. این کود حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌باشد که موجب تثبیت نیتروژن هوا، تعادل جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی، سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه و در نتیجه، حفاظت از گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا و تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌گردد (Arab-Niasar et al., 2019).

بر اساس مطالعات انجام شده، نیتروکسین نسبت به سایر کودهای زیستی بیشترین تأثیر را روی وزن هزار دانه، وزن خشک گیاه و وزن اندام هوایی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) داشت (Pirasteh Anosheh et al., 2010). پژوهشگران در تحقیقی، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ را در تیمار مصرف کود

1- Food and Agriculture Organization

نیتروکسین نسبت به شاهد مشاهده کردند (Moghimi & Yousefi Rad., 2013). در تحقیقی دیگر، استفاده از کودهای زیستی عملکرد بیشتری را نسبت به کودهای شیمیایی و آلی در گیاه آفتابگردان و در شرایط تنش ایجاد کرد (Izan et al., 2020). یکی دیگر از راهکارهای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش حاصلخیزی خاک، استفاده از کودهای آلی از جمله کودهای دامی است (Kamayestani et al., 2015). کودهای دامی در ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی اهمیت قابل توجهی دارا می‌باشند (Warman & Termeer, 2005) علاوه‌بر اثرات مثبت در ساختمان خاک، بستر مناسبی جهت انجام فرایندهای زیستی خاک فراهم می‌کنند (Chandra et al., 2005). در تحقیقی، مشخص شد که استفاده از کودهای دامی موجب افزایش عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه گلرنگ شد (Ghanbari et al., 2016). همچنین در تحقیق دیگر، مصرف کودهای دامی عملکرد دانه و روغن را در گلرنگ افزایش داد (Rezvani Moghaddam et al., 2015).

از راه‌های سنجش بهره‌وری کودها، به‌ویژه نیتروژن، بررسی کارایی مصرف نیتروژن است. این شاخص نشان‌دهنده افزایش عملکرد به‌ازای افزایش هر واحد نهاده است (Delbert & Ulter, 1989). اکثر شیوه‌های مناسب جهت برآورد کارایی مصرف نیتروژن وابسته به گیاه، تولید محصول و فرآیندهای مرتبط با آن است (Pathak et al., 2008). کارایی مصرف نیتروژن در واقع نشان‌دهنده توانایی گیاه در شکل‌گیری عملکرد دانه و یا بیولوژیک به‌ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک می‌باشد (Salvagiotti et al., 2009). در سیستم‌های مدرن کشاورزی، افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن با هدف افزایش تولید در واحد سطح، کاهش هزینه‌های تولید و نیز مخاطرات زیست‌محیطی یک ضرورت بوده و حائز اهمیت ویژه‌ای است، علاوه‌بر توانایی گیاه در جذب نیتروژن خاک، کارایی مصرف نیتروژن می‌تواند تحت تأثیر نوع منبع تأمین‌کننده این عناصر نیاز قرار گیرد (Seyyedi et al., 2015). کارایی جذب نیتروژن در واقع نیتروژن جذب شده در بوته به‌ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک می‌باشد. طیف نسبتاً وسیعی از عوامل ژنتیکی و نیاز استراتژی‌های مدیریتی می‌توانند بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن در گیاهان زراعی تأثیرگذار باشند (Guarda et al., 2004). با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد در رابطه با نیتروژن ورودی نقش مدیریت زراعی مانند تقسیط مصرف کود، همزمانی زمان مصرف کود با نیاز گیاه و در مجموع، افزایش کارایی مصرف نیتروژن که بیشتر متکی بر مدیریت زراعی هستند، حائز اهمیت می‌باشد (Tavakoli Kakhki et al., 2020). نتایج تحقیقی نشان داد که تأثیر نیتروکسین بر کارایی زراعی مصرف نیتروژن در شرایط عدم مصرف کودهای زیستی در گیاهان گندم (*Triticum sativum*) و جو (*Hordeum vulgare*) بالاتر بود. عدم تأثیر نیتروکسین در کنار مصرف کودهای آلی می‌تواند به‌دلیل تأمین کافی نیتروژن و یا سایر عناصر غذایی توسط باکتری‌های مؤثر بر رشد موجود در این منابع کودی باشد. به‌طوری‌که ممکن است منجر به عدم نیاز و یا کاهش نیاز گیاه به ارتباطات همزیستی شود (Ozturk et al., 2003). به‌طور کلی، در شرایط محدودتر بودن نیتروژن موجود در خاک، گیاه از نیتروژن باقیمانده در خاک با کارایی بالاتری استفاده می‌کند. معمولاً کارایی جذب نیتروژن با افزایش میزان کاربرد نهاده‌های کودی کاهش می‌یابد (Delogu et al., 1998). محققان در بررسی تأثیر منابع آلی، شیمیایی و بیولوژیک نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گزارش کردند که شاخص کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن در هر سه کود آلی (کود دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست) در مقایسه با کود اوره افزایش یافت. محققان دلیل کاهش کارایی مصرف نیتروژن در کود اوره در مقایسه با کودهای آلی را آزاد شدن سریع‌تر و شسته شدن بیشتر نیتروژن عنوان کردند (Rezvani Moghaddam et al., 2014).

یکی از راه‌های مدیریت منابع مختلف تغذیه‌ای، ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن می‌باشد. با توجه به اثرات آلایندگی کودهای شیمیایی و افزایش هزینه‌های تولید، جایگزین کردن کودهایی با منبع آلی و زیستی می‌تواند در کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و افزایش کارایی مصرف کودها مؤثر باشد. لذا، این تحقیق با هدف، تأثیر کود گاوی و منابع مختلف تأمین‌کننده نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گلرنگ در منطقه جیرفت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی، ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل منابع مختلف کود نیتروژن در شش سطح کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن)، اوره با پوشش

گوگرد (۳۰ درصد)، نیترات آمونیوم (۲۵ درصد نیتروژن)، نانو نیتروژن (۱۷ درصد)، نیتروکسین (حاوی باکتری‌های *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر* با تعداد ۱۰^۸ سلول زنده در هر میلی‌لیتر بر اساس شرکت سازنده) و شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن)، عامل دوم شامل کود گاوی در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) در نظر گرفته شد. کاشت گلرنگ رقم اصفهان در نیمه دوم آبان با فاصله بین ردیف و بین بوته به‌ترتیب ۳۰ و ۱۰ سانتی‌متر در کرت‌های به ابعاد ۳×۲ مترمربع انجام شد. کود اوره با پوشش گوگردی قبل از کاشت و کودهای نانونیتروژن، اوره و نیترات آمونیوم به‌صورت تقسیط در سه مرحله کاشت، روزت و ساقه دهی استفاده گردید. کود زیستی نیتروکسین به‌صورت تلقیح با بذر به کار رفت. آبیاری به‌صورت قطره‌ای بود. طی مراحل مختلف رشد گیاه هیچ‌گونه آفت‌کش و علف‌کش شیمیایی استفاده نگردید. نتایج آزمون نمونه‌برداری خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱-خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of the experiment site

پتاسیم قابل‌دسترس Available k ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل‌دسترس Available P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	بافت Texture
133.3	5.6	0.008	0.11	8.1	0.559	لوم- سیلتی Silt-loam

بر اساس نتایج آزمون خاک، میزان ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هر هکتار با توجه به نیاز گیاه گلرنگ در نظر گرفته شد. با توجه به منابع مختلف تأمین‌کننده نیتروژن، مقدار کود اوره، نیترات آمونیوم و اوره با پوشش گوگردی به‌ترتیب ۲۸۲، ۵۲۰ و ۴۳۳ کیلوگرم در هکتار محاسبه و در کرت‌ها استفاده شد. نمونه‌های مورد نیاز جهت تعیین درصد نیتروژن به‌طور جداگانه برای هر تیمار از مجموعه وزن خشک اندام‌های تفکیک شده این گیاه شامل دانه، ترکیب برگ و ساقه به‌عنوان زیست‌توده در هر کرت تهیه شد. به‌منظور تعیین درصد نیتروژن اندام‌های گیاه گلرنگ از دستگاه کجلدال استفاده شد. برای تعیین شاخص‌های مختلف کارایی نیتروژن از معادله‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ استفاده شد (Parsa et al., 2009).

معادله (۱): کارایی جذب نیتروژن[1]

$$NUPTE\ (\%) = SNY_F \times 100 / N_F$$

معادله (۲): کارایی فیزیولوژیک نیتروژن[2]

$$NUTE = SY_F / SNY_F$$

معادله (۳): کارایی مصرف نیتروژن[3]

$$NUE = SY_F / N_F$$

معادله (۴): شاخص برداشت نیتروژن[4]

$$NHI = Ng / Nt \times 100$$

معادله (۵): محتوی نیتروژن دانه

$$Ng = N_s \times W_s$$

معادله (۶): محتوی نیتروژن زیست‌توده

$$Nt = N_b \times W_b$$

1- Nitrogen uptake efficiency
2- Nitrogen physiological efficiency
3- Nitrogen use efficiency
4- Nitrogen harvest index

در این معادله، NUPTE: کارایی جذب نیتروژن، SNY_F: عملکرد دانه (گرم در مترمربع)، N_F: محتوی نیتروژن خاک شامل نیتروژن موجود در خاک و نیتروژن مصرفی (گرم در مترمربع) می‌باشد، NUTE: کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بر حسب عملکرد دانه، SY_F: عملکرد دانه (گرم بر مترمربع)، SNY_F: محتوی نیتروژن زیست‌توده (گرم در مترمربع)، NUE: کارایی مصرف نیتروژن، SY_F: عملکرد دانه (گرم در مترمربع) N_F: محتوی نیتروژن خاک (گرم در مترمربع)، NHI : شاخص برداشت نیتروژن، Ng: محتوی نیتروژن دانه (گرم در مترمربع)، Ns: درصد نیتروژن دانه، Ws: وزن خشک دانه (گرم در مترمربع)، Nt: محتوی نیتروژن زیست‌توده (گرم در مترمربع)، Nb: درصد نیتروژن زیست‌توده، Wb: وزن خشک زیست‌توده (گرم در مترمربع). درصد نیتروژن مصرفی خاک از اختلاف درصد نیتروژن خاک قبل کشت و پس از برداشت گیاه حاصل شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 انجام شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال آماری پنج درصد مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: اثر متقابل کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب از تیمار مصرف کود گاوی + نیتروکسین و عدم مصرف کود گاوی و شاهد حاصل شد (جدول ۳). در گیاه گلرنگ استفاده از کودهای حاوی نیتروژن می‌تواند از طریق تأثیر بر تعداد انشعابات و در نتیجه، تعداد طبق در بوته افزایش عملکرد دانه را در پی داشته باشد (Weiss, 2000). کود زیستی نیتروکسن حاوی *ازتوباکتر* علاوه‌بر تأثیر مثبت مستقیم، سبب افزایش جذب مواد معدنی در گیاه نیز می‌شود (Sumbul et al., 2020). محققان گزارش کردند که کاربرد نیتروژن در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد نیتروژن) سبب افزایش عملکرد دانه گلرنگ گردید و این افزایش عملکرد را به‌علت اثر نیتروژن بر فتوسنتز، مقدار فتوآسیملات‌هایی که به‌وسیله گیاه تولید می‌شود، تسهیم ماده خشک و رشد و نمو اندام‌ها دانستند (Dordas & Sioulas, 2008). کود گاوی با فراهمی مواد آلی، از طریق حفظ رطوبت خاک و محیط مناسب فعالیت باکتری‌های مفید کود زیستی نیتروکسین سبب بهبود رشد گیاه و عملکرد دانه گلرنگ شده است.

درصد نیتروژن اندام‌های گیاه: اثر کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر درصد نیتروژن دانه، زیست‌توده و کل بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج، تیمار مصرف کود گاوی نسبت به تیمار عدم مصرف کود گاوی، ۲۴/۳ درصد افزایش در میزان درصد نیتروژن دانه داشت، همچنین کود نیتروکسین و نانونیتروژن بیشترین درصد نیتروژن دانه را داشتند (به‌ترتیب ۳/۴۶ و ۳/۲۱ درصد) و کمترین مقدار آن در نیتروژن مشاهده شد (۱/۹ درصد) (جدول ۴). تیمار مصرف کود گاوی + کود نیتروکسین دارای بیشترین مقدار درصد نیتروژن زیست‌توده و کل بوته بود که با تیمار کود گاوی + کود نانونیتروژن اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان آن مربوط به تیمار عدم مصرف کود گاوی + شاهد بود (جدول ۳). با توجه به نتایج، استفاده از کود گاوی در هر منبع کود نیتروژن باعث افزایش مقدار درصد نیتروژن زیست‌توده و کل بوته شده است. درصد نیتروژن موجود در اندام‌های مختلف گیاه تحت تأثیر میزان ماده خشک، مقدار و نوع منبع مورداستفاده قرار گرفت. در رابطه با افزودن کود دامی به خاک می‌توان اظهار داشت، افزایش مواد آلی خاک، از طریق قدرت جذب، نگهداری و فراهمی رطوبت شرایط جذب بهتر عناصر غذایی از جمله عنصر نیتروژن را فراهم نموده و به دنبال آن، موجب افزایش درصد این عنصر در اندام‌های مختلف گیاه شده بود. در پژوهشی، با مصرف کود دامی، درصد نیتروژن جذب شده نسبت به نیتروژن در گیاه گلرنگ افزایش یافت (Ghanbari et al., 2016). با افزایش فراهمی و قابلیت دسترسی نیتروژن، مقدار نیتروژن جذب شده نیز افزایش خواهد یافت (Hajghani and Galavand, 2015).

محتوی نیتروژن اندام‌های گیاه: اثر متقابل کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر محتوی نیتروژن دانه، زیست‌توده و کل بوته در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمار کود گاوی به همراه کود نیتروکسین بیشترین محتوی نیتروژن دانه، زیست‌توده و کل بوته حاصل شد و در تیمار عدم مصرف کود گاوی در شاهد کمترین مقدار حاصل شد (جدول ۳). با توجه به اینکه محتوی نیتروژن اندام‌های مختلف گلرنگ از حاصل‌ضرب درصد نیتروژن اندام و ماده خشک تولیدی آن در واحد سطح به‌دست می‌آید، این نتیجه افزایش نیتروژن جذب شده گلرنگ در اثر کاربرد کود گاوی و قابلیت دسترسی منبع نیتروژن مصرفی نیز دور از انتظار نمی باشد. به‌دلیل این که افزایش قابلیت جذب نیتروژن توسط گیاه، سبب افزایش درصد نیتروژن و افزایش ماده خشک تولیدی گلرنگ در واحد سطح می‌شود. کود گاوی با حفظ رطوبت خاک توانست جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را افزایش دهد و از طریق افزایش درصد نیتروژن و عملکرد گیاه، محتوی نیتروژن زیست‌توده افزایش یافت.

محققان در بررسی کاربرد کود گاوی و شیمیایی در گیاه گلرنگ مشاهده کردند با مصرف کود گاوی درصد نیتروژن جذب شده نسبت به نیتروژن افزایش یافت (Ghanbari et al., 2016). در پژوهش دیگری، با افزایش میزان قابلیت دسترسی نیتروژن، مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه نیز افزایش یافت (Hajghani and Galavand, 2015). در تحقیقی که به‌منظور مقایسه اثر سطوح مختلف کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) و شیمیایی (اوره) بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در اسفرزه (*Plantago ovata*) انجام گرفت، مشخص شد با افزایش مقدار کود، درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده افزایش یافت (Nasirzadeh et al., 2015).

نیتروژن خاک بعد از برداشت و نیتروژن مصرفی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که نیتروژن خاک بعد از برداشت و نیتروژن مصرفی به‌طور معنی‌داری (در سطح آماری یک درصد) تحت تأثیر کود گاوی، منابع مختلف کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد، تیمار مصرف کود گاوی نسبت به تیمار عدم مصرف کود گاوی از لحاظ درصد نیتروژن خاک بعد از برداشت گیاه ۳۳ درصد افزایش داشت (جدول ۳). پاسخ این شاخص به نوع منابع مختلف کود نیتروژن متفاوت بود. به‌طوری‌که نتایج اثرات متقابل نشان داد، بیشترین درصد نیتروژن خاک بعد از برداشت (۰/۳۶ درصد) در تیمار مصرف کود گاوی + کود اوره با پوشش گوگرد به‌دست آمد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار عدم مصرف کود گاوی + اوره (۰/۱۴ درصد) بود (جدول ۳).

جدول ۲ - تجزیه واریانس تأثیر کود گاوی و منابع مختلف نیتروژن بر صفات مورد مطالعه گلرنگ

Table 2- Analysis of variance the effect of cow manure and different sources of nitrogen on studied traits in safflower

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		عملکرد دانه Seed yield	درصد نیتروژن دانه Seed N (%)	درصد نیتروژن زیست‌توده Biomass N (%)	درصد نیتروژن کل بوته Plant N (%)	محتوی نیتروژن دانه Seed N content	محتوی نیتروژن زیست‌توده Biomass N content	محتوی نیتروژن کل بوته Plant N content	نیتروژن خاک بعد از برداشت Postharvest N	نیتروژن مصرفی Consumed N
تکرار Replication	2	485.8^{ns}	0.11^{ns}	0.007^{ns}	0.18^{ns}	2533.1^{ns}	5538.7^{ns}	15262.8^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001^{ns}
کود گاوی Cow manure (M)	1	11918.7**	3**	0. 25**	5**	445630.1**	35015.5**	1509993.2**	168.12**	0.0256**
منابع مختلف کود نیتروژن Sources of N (N)	5	18199.6**	2.05**	0.084**	2.83**	404424.5**	121200.0**	953349.2**	0.024**	0.0249**
کود گاوی× منابع نیتروژن M×N	5	4412.5**	0.21 ^{ns}	0.037*	0.39*	71946.9**	32968.4**	198280.3**	0.012**	0.0128**
خطا Error	22	154.7	0.11	0.009	0.124	3641.6	3259.8	7239.9	0.0001	0.00015
ضریب تغییرات CV (%)		7.9	12.8	13.9	10.4	13.3	15.6	10.8	6.6	6.9

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر صفات مورد مطالعه گلرنگ

Table 3- Mean of comparison of the effect of cow manure and different sources of nitrogen on studied traits in safflower

تیمار Tretment	منابع کود نیتروژن Sources of N	عملکرد دانه Seed yield ($gr.m^{-2}$)	درصد نیتروژن زیست‌توده Biomass N (%)	نیتروژن کل بوته Plant N (%)	محتوی نیتروژن دانه Seed N content ($g.m^{-2}$)	محتوی نیتروژن Biomass N content ($g.m^{-2}$)	محتوی نیتروژن بوته Plant N content ($g.m^{-2}$)	نیتروژن خاک بعد از برداشت Postharvest N (%)	نیتروژن مصرفی Consumed N (%)
کود گاوی Cow manure	شاهد Control	131.6^{f*}	0.61^{e}	2.8^{e}	150^{f}	191.2^{g}	397.4^{fg}	0.22^{d}	0.212^{d}
	اوره با پوشش گوگرد Urea with sulfur coating	187.1^{cd}	0.8^{bd}	3.9^{bc}	580.5^{c}	485.8^{c}	1066.4^{c}	0.36^{a}	0.352^{a}
	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	164.4^{e}	0.83^{bc}	3.29^{de}	404.6^{d}	454.8^{cd}	1769.5^{cd}	0.12^{gh}	0.112^{gh}
	نیتروکسین Nitroxin	284.0^{a}	1.05^{a}	5.05^{a}	1138.8^{a}	752.5^{a}	1891.4^{a}	0.25^{c}	0.248^{c}
	نانو نیتروژن Nano nitrogen	228.1^{b}	0.88^{ab}	4.46^{ab}	817.7^{b}	624.3^{b}	1442.0^{b}	0.19^{e}	0.188^{e}
	اوره Urea	121.7^{fg}	0.62^{e}	3.08^{de}	297.1^{e}	245.9^{fg}	543.0^{ef}	0.11^{gh}	0.108^{gh}
بدون کود گاوی No cow manure	شاهد Control	68.3^{h}	0.43^{f}	2^{f}	213.3^{ef}	184.0^{g}	341.3^{g}	0.13^{fg}	0.122^{fg}
	اوره با پوشش گوگرد Ammonium nitrate	105.6^{g}	0.7^{ce}	3.05^{de}	246.7^{ef}	744.7^{fg}	486.3^{efg}	0.14^{f}	0.135^{f}
	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	113.5^{fg}	0.77^{bd}	3.27^{de}	286.3^{e}	879.7^{ef}	573.0^{e}	0.14^{f}	0.138^{f}
	نیتروکسین Nitroxin	205.0^{c}	0.63^{e}	3.55^{cd}	592.7^{c}	1293.2^{cd}	965.0^{cd}	0.28^{b}	0.278^{b}
	نانو نیتروژن Nano nitrogen	174.1^{de}	0.62^{e}	3.48^{cd}	496.7^{cd}	1093.6^{de}	828.6^{d}	0.14^{f}	0.135^{f}
	اوره Urea	105.6^{g}	0.63^{e}	2.7^{e}	217.8^{ef}	670.4^{fg}	435.6^{efg}	0.13^{h}	0.092^{h}

* در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر درصد نیتروژن دانه و بهره‌وری نیتروژن در گلرنگ

Table 5- Mean of comparison of the effect of cow manure and different sources of nitrogen on seed nitrogen percent and nitrogen productivity in safflower

تیمار Tretment	نیتروژن دانه Seed N (%)	بهره‌وری نیتروژن N productivity ($g.g^{-1}$)
کود گاوی Cow manure	2.96 [a]	38.87[a]
بدون کود گاوی No cow manure	2.38[b]	32.08[b]
شاهد Control	1.9[d]	30.20[b]
اوره با پوشش گوگرد Urea with sulfur coating	2.72[b]	31.64[b]
نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	2.48[bc]	32.7[b]
نیتروکسین Nitroxin	3.46[a]	47.53[a]
نانو نیتروژن Nano N	3.21[a]	40.64[ab]
اوره Urea	2.26[cd]	30.12[b]

نیتروژن مصرفی از اختلاف درصد نیتروژن قبل از کاشت گیاه و پس از برداشت گیاه محاسبه شد. برهم‌کنش اثرات متقابل نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن مصرفی (۰/۳۵درصد) در تیمار مصرف کود گاوی + کود اوره با پوشش گوگرد به‌دست آمد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار عدم مصرف کود گاوی + اوره (۰/۰۹ درصد) بود (جدول ۳). در رابطه با کود اوره معمولی نیتروژن در معرض خطر آبشویی، حرکت توده‌ای و عدم جذب قرار دارد، از این رو نانوکودها و کودهای پوشش‌دار و کودهای زیستی در مقایسه با کودهای شیمیایی رایج می‌توانند به‌صورت مطلوب در مرحله مناسبی از رشد، عناصر غذایی خود را آزاد کنند و مطابق با نیاز گیاه خصوصیات رشدی را بهبود بخشند. در پژوهشی، میزان آبشویی کود اوره معمولی نسبت به کودهای اوره با پوشش گوگردی، نانوکلات نیتروژن گوگرددار و نانو کلات نیتروژن بیشتر بود (Bayat et al., 2017). تلفات نیتروژن به‌صورت گاز آمونیاک با استفاده از کود اوره با پوشش گوگردی بسیار کمتر از سایر منابع کودی است و به همین دلیل جذب نیتروژن توسط گیاه افزایش می‌یابد (Malakooti & Baba Akbari, 2005). به نظر می‌رسد، کود اوره با پوشش گوگردی علاوه‌بر تأمین نیاز نیتروژن گیاه (به‌طول معمول ۳۰ تا ۴۰ درصد نیتروژن) با دارا بودن لایه گوگرد از آبشویی نیتروژن تا حد زیادی جلوگیری می‌کند.

کارایی مصرف نیتروژن: نتایج نشان داد، اثر کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد، بیشترین شاخص کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کود گاوی + نیتروکسین و کمترین آن در تیمار عدم مصرف کود گاوی + شاهد حاصل شد (جدول ۶). با توجه به اینکه کارایی مصرف نیتروژن از نسبت مقدار دانه تولیدشده به محتوی نیتروژن خاک به‌دست می‌آید، با افزایش مقدار دانه تولید شده، کارایی مصرف کود نیز افزایش یافت (Rabiei & Tousi Kahel, 2011). به نظر می‌رسد، منابعی از نیتروژن که قابلیت جذب بیشتری داشته باشند، علاوه‌بر فراهم کردن نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌دلیل افزایش رشد اندام‌های هوایی و عملکرد مطلوب منجر به دستیابی بیشترین کارایی این عنصر در گیاه شوند.

کارایی جذب نیتروژن: اثر متقابل کاربرد کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر کارایی جذب نیتروژن گیاه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین مقدار کارایی جذب نیتروژن در تیمار کود گاوی + نانونیتروژن و نیتروکسین (۱۲/۹۱ و ۱۱/۱۹ گرم نیتروژن جذب شده به گرم نیتروژن موجود در خاک) حاصل شد و کمترین آن مربوط به تیمار مصرف کود گاوی + شاهد بود (جدول ۶). طیف نسبتاً وسیعی از عوامل ژنتیکی و نیاز روش‌های

مدیریتی می‌توانند بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن در گیاهان زراعی تأثیرگذار باشند (Guarda et al., 2004). در کنار مصرف بهینه نهاده‌های کودی، کاهش تلفات نیتروژن از خاک نیز از عوامل مؤثر جهت افزایش کارایی جذب نیتروژن می‌باشد. مصرف نیتروژن در زمان مناسب و بر حسب نیاز گیاه، شیوه صحیح مصرف کود نیتروژن، مصرف نیتروژن از منابع آلی و جایگزینی نهاده‌های آلی به‌جای کودهای شیمیایی از جمله مهم‌ترین راهکارها جهت افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن به‌شمار می‌رود. در این ارتباط، محققان، افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن در زعفران را در نتیجه مصرف منابع کود آلی نسبت به کود شیمیایی مشاهده نمودند. این محققین، دلیل این افزایش را ناشی از تلفات کمتر نیتروژن از خاک درنتیجه مصرف کمپوست و کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی دانستند (Khoocheki & Seyyedi, 2016).

به‌طور کلی، برتری کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی از نظر جذب نیتروژن و افزایش عملکرد می‌تواند ناشی از فراهمی متعادل‌تر عناصر غذایی در خاک بر حسب نیاز گیاه، افزایش سطح مواد آلی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نیز آبشویی کمتر عناصر غذایی در طی زمان باشد (Limon-Ortega et al., 2008). از آن‌جا که آزادسازی نیتروژن و نیز سایر عناصر غذایی در کودهای دامی هماهنگ با نیاز گیاه است، با به‌کارگیری کودهای آلی می‌توان افزایش کارایی این عناصر را امکان‌پذیر نمود. همان‌طور که پیش‌تر اشاره گردید، در بین تیمارهای مربوط به کودهای نیتروژن کود بیولوژیک نیتروکسین نقش معنی‌داری در افزایش کارایی کود در این گیاه داشت. به‌طور کلی، در شرایط محدودتر بودن نیتروژن موجود در خاک، گیاه از نیتروژن باقی‌مانده در خاک با کارایی بالاتری استفاده می‌کند. معمولاً کارایی جذب نیتروژن با افزایش میزان کاربرد نهاده‌های کودی کاهش می‌یابد (Delogu et al., 1998). پژوهشگران در بررسی تأثیر منابع آلی، شیمیایی و بیولوژیک نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن سیاهدانه بیان کردند که شاخص کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن در هر سه کود آلی (کود گاوی، کمپوست و ورمی‌کمپوست) به‌طور معنی‌دار بیش از کود اوره است (Rezvani Moghaddam et al., 2014). نتایج مطالعه‌ای نشان داد استفاده از کود کمپوست دامی جذب نیتروژن را در گیاه کلزا (*Brassica napus*) افزایش داد (Akbari and Modares, 2019). به نظر می‌رسد کاهش کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کود اوره در مقایسه با کودهای آلی احتمالاً در نتیجه آزاد شدن سریع‌تر و شسته شدن بیشتر نیتروژن در این کودها باشد.

جدول ۵- تجزیه واریانس (مربعات میانگین) تأثیر کود گاوی و منابع مختلف نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در گلرنگ

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) the effect of cow manure and different nitrogen sources on nitrogen efficiency indexes

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency	کارایی جذب نیتروژن N uptake efficiency	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن N physiological efficiency	بهره‌وری نیتروژن Nproductivity	شاخص برداشت نیتروژن N harvest index
تکرار Replication	2	0.17^{ns}	0.490^{ns}	30.75^{ns}	141.15^{ns}	1.80^{ns}
کود گاوی Cow manure (M)	1	20.79**	0.019^{ns}	1411.73**	414.8**	150.1*
منابع کود نیتروژن Sources of N (N)	5	26.33**	28.13**	235.51*	1459.3**	150.5**
کود گاوی× منابع نیتروژن M×N	5	4.46**	27.83**	261.08*	445.9^{ns}	140.1**
خطا Error	22	0.83	1.18	66.04	867.5	31.7
ضریب تغییرات CV (%)	-	12.19	12.43	17.57	17.6	14.5

ns، * و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن گلرنگ

Table 6- Mean comparisons of interaction of manure and different nitrogen sources on nitrogen efficiency traits of safflower

تیمار Treatment	منابع مختلف کود نیتروژن Sources of N	کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency($g.g^{-1}$)	کارایی جذب نیتروژن N uptake efficiency (%)	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن N physiologic efficiency($g.g^{-1}$)	شاخص برداشت نیتروژن N harvest index (%)
کود گاوی Cow manure	شاهد Control	5.57cde*	3.00f	38.59c	22.8e
	اوره با پوشش گوگرد Urea with sulfur coating	5.11de	5.08de	38.64c	39.3abcd
	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	8.47b	10.74b	37.12c	32.4de
	نیتروکسین Nitroxin	10.82a	11.19ab	38.15c	45.3ab
	نانو نیتروژن Nano	11.30a	12.91a	36.54c	41.5abcd
	اوره Urea	8.35b	9.75b	50.77bc	39.9abcd
بدون کود گاوی No cow manure	شاهد Control	4.29e	9.63b	63.27a	45.4ab
	اوره با پوشش گوگرد Ammonium nitrate	6.10cde	6.99cd	44.11bc	35.7bcd
	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	6.05cd	7.38c	39.79c	34.3cd
	نیتروکسین Nitroxin	6.45cd	6.94cde	55.85b	46.7a
	نانو نیتروژن Nano	10.16a	11.67ab	52.55bc	44.8abc
	اوره Urea	7.04bc	9.78b	49.38bc	35.0bcd

* در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to the Duncan test.

محققان در بررسی کارایی مصرف نیتروژن در گیاه گندم نیز گزارش کردند، اعمال روش‌هایی که منجر به کاهش سرعت آزاد شدن عناصر از کودهای شیمیایی شود، می‌تواند علاوه‌بر افزایش رفع نیاز گیاه به این عنصر، منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن شود ضمن آن‌که آزاد شدن سریع نیتروژن در کود اوره را در کاهش کارایی جذب نیتروژن در گیاهان مؤثر دانستند (Yang et al., 2011). با توجه به آن که افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن نقش مهمی در بهبود عملکرد پایدار اکوسیستم‌های زراعی دارد (Weih et al., 2011)، اعمال کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی می‌تواند در توسعه عملکرد پایدار در گلرنگ مؤثر باشد. بیشتر بودن کارایی جذب نیتروژن در کودهای نانو نسبت به دیگر کودهای مورد استفاده نشان‌دهنده این موضوع است که نانو نیتروژن با کاهش سرعت هدر رفت عنصر سبب جذب بیشتر توسط ریشه گیاه شده و منجر به کارایی بیشتر آن نسبت به کودهای شیمیایی رایج شده است. نانو کودها کارایی مصرف بالایی دارند و به‌صورت مطلوب قادرند عناصر غذایی خود را در ناحیه مناسب رشد ریشه آزاد کنند (Sureshbabu et al., 2016). در پژوهشی، محققان افزایش کارایی نیتروژن را در کودهای نانو نیتروژن نسبت به اوره گزارش کردند (Bayat et al., 2017).

اثر متقابل کاربرد کود گاوی و منابع مختلف کود نیتروژن بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در بین منابع مختلف کود نیتروژن، بیشترین میزان کارایی فیزیولوژیک در تیمار عدم مصرف کود گاوی + شاهد ۶۳/۲۷ گرم عملکرد دانه به‌ازای گرم نیتروژن جذب شده حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۶). کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در واقع نشان‌دهنده میزان استفاده بهینه گیاه از مقدار عنصر

غذایی جذب‌شده توسط ریشه‌های آن گیاه می‌باشد. بنابراین، صرف جذب مقدار معینی از یک عنصر غذایی نمی‌تواند معیاری جهت تعیین میزان تأثیرگذاری یک یا چند تیمار باشد. در بین ترکیب‌های تیماری، تیمارهای تلقیح با نیتروکسین و نانو نیتروژن در شرایط عدم مصرف کود گاوی به‌ترتیب با ۵۵/۸۵ و ۵۲/۵۵ گرم عملکرد دانه بر گرم نیتروژن جذب شده علاوه‌بر بالا بودن مقدار نیتروژن جذب شده از خاک نسبت به سایر ترکیب‌های تیماری، شرایط به‌گونه‌ای بوده که گیاه توانسته است، بیشترین استفاده و کاربری را از نیتروژن جذب شده داشته باشد. یعنی شرایط برای تولید مقدار بیشتری از مواد فتوسنتزی و همچنین تولید عملکرد بیشتری فراهم شده است. همچنین، کود اوره با قابلیت آبشویی در این پژوهش با افزایش قابلیت در دسترس بودن نیتروژن، میزان آن در زیست‌توده افزایش‌یافته، لذا کارایی فیزیولوژیک آن کاهش یافت. در آزمایشی دیگر، با افزایش میزان مصرف کود دامی از ۲۰ به ۴۰ تن در هر هکتار مقدار کارایی فیزیولوژیک نیتروژن از ۷/۶ به ۸/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم افزایش یافت (Ghanbari et al., 2016). محققان به‌ترتیب بیشترین و کمترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) را در تیمار تلقیح با نیتروکسین+ مصرف کود دامی و تیمار عدم مصرف کودهای آلی و زیستی (شاهد) گزارش کردند. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد کودهای زیستی به‌خصوص کود نیتروکسین اثر مثبتی در افزایش تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، تعداد روز تا رسیدگی بوته، درصد نیتروژن، مقدار فسفر جذب شده توسط بوته و کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن دارد (Arab-Niasar et al., 2019).

بهره‌وری نیتروژن: اثر کود دامی و منابع مختلف کود نیتروژن بر بهره‌وری نیتروژن در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مصرف کود گاوی سبب افزایش ۲۱/۲ درصدی بهره‌وری نیتروژن نسبت به عدم مصرف کود گاوی (شاهد) شد (جدول ۴). همچنین اثر ساده منابع کود نیتروژن حاکی از آن بود که بیشترین بهره‌وری نیتروژن در تیمار نیتروکسین و نانونیتروژن و کمترین در اوره مشاهده شد که با تیمارهای اوره با پوشش گوگرد و نیترات آمونیوم تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۴). با افزایش مصرف کودهای شیمیایی معمولاً از طریق هدرروی و آبشویی آن‌ها و یا از طریق تأثیرات نامطلوبی که روی ساختمان خاک به‌وجود می‌آورند، کارایی مصرف کود کاهش می‌یابد. امّا چنانچه کودهای شیمیایی به همراه کودهای دامی به‌صورت تلفیقی مورد استفاده قرار گیرند، تأثیر مثبت بسیار زیادی بر کارایی مصرف کودها خواهند داشت (Ghanbari et al., 2016). در پژوهشی، سطوح مختلف کودهای آلی از نظر کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن در مقایسه با کودهای شیمیایی برتری داشتند (Asadi et al., 2014).

شاخص برداشت نیتروژن: نتایج نشان داد که، شاخص برداشت نیتروژن تحت تأثیر کود گاوی، منابع مختلف کود نیتروژن و اثرات متقابل آن‌ها در سطح آماری یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین شاخص برداشت نیتروژن (۴۶/۷ درصد) مربوط به تیمار عدم مصرف کود گاوی + نیتروکسین بود. این شاخص از نسبت محتوی نیتروژن دانه به زیست‌توده کل محاسبه می‌شود. در این پژوهش، با افزایش قابلیت دسترسی مقدار نیتروژن، رشد رویشی گیاه افزایش و شاخص برداشت نیتروژن کاهش یافت (جدول ۶). بالا بودن شاخص برداشت نیتروژن در تیمارهای مورد مطالعه، مربوط به عملکرد دانه بیشتر گلرنگ بود. کمترین میزان شاخص برداشت نیتروژن در مصرف کود گاوی + شاهد به‌دست آمد. با توجه به این که شاخص برداشت نیتروژن از نسبت نیتروژن دانه به کل جذب نیتروژن گیاه (نیتروژن دانه و زیست‌توده) برآورد می‌شود، لذا با افزایش قابلیت جذب نیتروژن مصرفی، کل جذب نیتروژن گلرنگ (نیتروژن دانه و زیست‌توده) نسبت به نیتروژن دانه افزایش بیشتری یافته و منجر به کاهش شاخص برداشت نیتروژن می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف کود گاوی به همراه منابع مختلف کود نیتروژن نسبت به شاهد، عملکرد دانه، درصد نیتروژن و محتوی نیتروژن اندام‌های مختلف گلرنگ افزایش یافت. بهره‌وری، مصرف و جذب کود زیستی نیتروکسین و نانو نیتروژن در مقایسه با کودهای شیمیایی بیشتر بود، هر چند مصرف کود گاوی نسبت به عدم مصرف آن این شاخص‌ها را بهبود بخشید. بنابراین، می‌توان بیان کرد، در صورت مصرفت منابع تغذیه‌ای شیمیایی، مصرف تلفیقی کود گاوی به همراه کودهای شیمیایی باعث کاهش هدرروی و میزان آبشویی عناصر غذایی خصوصاً نیتروژن می‌شود. با توجه به بیشترین عملکرد در تیمار مصرف کود گاوی + نیتروکسین و نانو نیتروژن، به‌منظور تأمین عنصر نیتروژن گیاه، منابع تغذیه‌ای زیستی نیتروژن در منطقه جیرفت پیشنهاد می‌گردد.

References

1. Adediran, J.A., Taiwo, L.B., Akande, M.O., Sobulo, R.A., & Idowu, O.J. (2004). Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Journal of Plant Nutrition*, *27*, 1163-1181. https://doi.org/10.1081/PLN-120038542
2. Agricultural Iran Statistics. (2019). https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj3-1398-site.pdf.
3. Akbari, H., & Modares Sanavy, S.A.M. (2019). Effects of Nutritional Management on Yield, Nitrogen Use Efficiency, Soil Organic Carbon and Nitrogen in Canola-Wheat Crop Rotation. *Journal of Agroecology*, *10*(4), 1245-1257. (In Persian with English Summary) https:// 10.22067/JAG.V10I4.63624.
4. Arab-Niasar, L., Mirzakhani, M., & Nozad Namin, K. (2019). Evaluation of nitrogen efficiency and grain yield of white bean under combined application of organic and biological fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(3), 1-11. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/180593/fa
5. Asadi, G.A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M., & Khorramdel, S. (2014). Effects of organic and chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (*Plantago Ovata* Forsk.). *Journal of Agroecoology*, *5*(4), 373-382. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/211303/fa
6. Bayat Varkeshi, M., Hamid Zareabyaneh, H., & Mahdavi, S. (2017). Effect of nitrogen nanofertilizers and urea on yield and nitrogen efficiency in potatoes. *Journal of Agroecology*, *7*(1), 81-95. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/254784/fa
7. Burelle, N., Kloepper, J.W., & Reddy, M.S. (2006). Plant growth promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Applied Soil Ecology*, *31*, 91-100. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.03.007
8. Chandra, K. (2005). Organic manures. *Regional Centre of Organic Farming*, *34*, 6-46. https://rvskvv.net/images/Organic-Manures_20.04.2020.pdf
9. Damodaram, T., & Hegde D.M. (2002). Oilseeds situation: a statistical compendium. Directorate of Oilseeds Research, Rajendranagar, Hyderabad India, 486 p. https://icar-iior.org.in/oilseeds-compendium
10. Deibert, E.J., & Ulter, R.A. (1989). Sunflower growth and nutrient uptake: Response of tillage system, hybrid maturity and weed control method. *Soil Science Journal*, *53*, 133-138. https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300010025x
11. Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T., & Stanca, A.M. (1998). Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy*, *9*, 11–20. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00019-7
12. Dordas, C.A., & Sioulas, C. (2008). Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain conditions. *Field Crops Research*, *27*(1), 75-85. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.07.020
13. Emongor, V.E., Oagile, O., & Kedikanetswe, B. (2013). Effects of plant population on growth, development and oil yield of safflower. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *3*, 321-333. http://:10.17660/ActaHortic.2015.1077.3
14. FAO (Food and Agriculture Organization). (2018). FAOSTAT. http://www.fao.org/faostat /en/#data/QC
15. Fathi, A., Farnia, A., & Maleki, A. (2013). Effects of nitrogen and phosphate biofertilizers on yield and yield components of corn AS71 in Dareh-shahr climate. *Journal of Crop Ecophysiology*, *7-1*(25), 105-114. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/182741/fa
16. Fathi, M., Mohebbi, M., & Koocheki, A. (2016). Introducing *Prunus cerasus* gum exudates: Chemical structure, molecular weight, and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, *61*, 946-955. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.07.004
17. Ghanbari, M., Mirzakhani, M., Faridhashmi, S. A. (2016). Physiological efficiency response of safflower nitrogen to the consumption of animal and chemical fertilizers in Kashan region. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *11(41):* 53-64. (In Persian).20.1001.1.76712423.1395.11.41.5.8
18. Guarda, G., Padovan, S., & Delogu, G. (2004). Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, *21*, 181–192. https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.001
19. Hajghani, M., & Galavand, A. (2015). The response of safflower seed quality characteristics to organic and chemical fertilization. *Biological Agriculture & Horticulture*, *32*(2),1-9. https:// 10.1080/01448765.2015.1094674
20. Hazeri Niri, H., Tobeh, A., Gholipouri, A., Mostafaei, H., & Jamaati-E-Somarin, S. (2010). The effect of nitrogen and phosphorous rates on fertilizer use efficiency in lentil. *World Applied Sciences Journal*, *9*(9), 1043-1046.

http://www.idosi.org/.../13.pdf
21. Hirel, B., Martin, A., Terce-Laforque, T., Gonzalez-Moro, M.B., & Estavillo, J.M. (2005). Physiology of maize I: A comprehensive and integrated view of nitrogen metabolism in a C_4 plant. *Physiologia Plantarum*, *124*, 167–177. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00510.x
22. Hussain, M., Cheema, S.A., Abbas, R.Q., Ashraf, M.F., Shahzad, M., Farooq, M., & Jabran, K. (2018). Choice of nitrogen fertilizer affects grain yield and agronomic nitrogen use efficiency of wheat cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, *41*, 2330-2343. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1509998
23. Izan, T., Javanmard, A., Shekari, F., & Abbasi, A. (2020). Evaluation of yield, yield components and some physiological traits of sunflower with integrative application of biological, chemical, and organic fertilizers under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(3), 87-111. https://20.1001.1.24764310.1399.30.3.6.1
24. Kamayestani, N., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., & Rejali, F. (2015). Effects of single and combined application of organic and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of anise (*Pimpinella anisum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(1), 62-70. (In Persian with English Summary). https://10.22067/JAG.V10I2.32837
25. Karami Chame, S., Khalil-Tahmasbi, B., ShahMahmoodi, P., Abdollahi, A., Fathi, A., Seyed Mousavi, S.J., & Bahamin, S. (2016). Effects of salinity stress, salicylic acid and *pseudomonas* on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus* vulgaris). *Scientia Iranica*, *14*(2), 234-238. https://10.15192/PSCP.SA.2016.14.2.234238
26. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Moradi, R., & Alizadeh, Y. (2015). Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. *Field Crops Research*, *13*(34), 1-13. (In Persian with English Summary). https:// 10.22067/GSC.V13I1.48310
27. Limon-Ortega, A., Govaerts, B., & Sayre, K.D. (2008). Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy*, *29*, 21–28. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.008
28. MAJ (Ministry of Agriculture Jihad). (2017). Agriculture Statistical Year Book, First volume, crops. 2015-2016. http://www.maj.ir.
29. Malakooti, M.J., & Baba Akbari, M. (2005). The need to increase the efficiency of nitrogen fertilizers in the Iran country. Part I. Practical definitions and examples. *Technical Journal* No. 425, pp 34. Sena Publications, Tehran, Iran. (In Persian). https://press-swri.areeo.ac.ir/book_2226.html
30. Mirzakhani, M., Ghanbari Kashan, M., & Hashemi, S.A.F. (2016). Response of nitrogen physiological efficiency of safflower to animal and chemical fertilizers in Kashan region. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *11*(41), 53-64. (In Persian with English Summary) https://20.1001.1.76712423.1395.11.41.5.8
31. Moghimi, F., & Yousefi Rad, M. (2013). The effects of nitroxin (Azotobacter) usage on yield and yield components of safflower (cv.Goldasht) in the presence of EDTA. *Journal of Plant Ecophysiology*, *5(13)*, 39-47. (In Persian). https://sid.ir/paper/188406/fa
32. Mohammadian, M., Astaraie, A., Lakzian, A., Emami, H., & Kavousi, M. (2018). Effect of nitrogen supplying sources on nitrogen use efficiency in rice (*Shiroudi cultivar*). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *21*(1), 82-95. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/385333/fa
33. Motesharezadeh, B., Valizadeh-Rad, K., Dadrasnia, A., & Amir-Mokri, H. (2017). Trend of fertilizer application during the last three decades (Case study: America, Australia, Iran and Malaysia). *Journal of Plant Nutrition*, *40*(4), 532-542. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1250909
34. Nasirzade, S., Fallah, S., Kiani, S.H., & Mohammadkhani, A., (2015). Effect of differnt levels of cow manure and urea on quantitative and qulitative characteristics of isabgol (*Plantago Ovata Forssk*.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *31*(1), 41-51. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.12609
35. Pathak, R.R., Ahmad, A., Lochab, S., & Raghuram, N. (2008). Molecular physiology of plant Nitrogen use efficiency and biotechnological option for its enhancement. *Journal of Current Science*, 94: 1394-1403. http://www.jstor.org/stable/24100496
36. Ozturk, A., Caglar, O., & Sahin, F., (2003). Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *166*(2), 262-266. https://doi.org/10.1002/jpln.200390038
37. Parsa, S., Kafi, M., & Nassiri, M. (2009). Effects of salinity and nitrogen levels on nitrogen content of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Information Database*, *7*(2), 347-355. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/119162/fa.
38. Pirasteh Anosheh, H., Emam, Y., & Jamali Ramin, F. (2010). Comparative effect of biofertilizers with chemical

fertilizers on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil percentage in different drought stress levels. *Journal of Agroecology*, *2*(3), 492-501. (In Persian with English Summary) https://sid.ir/paper/474441/fa
39. Qureshi, A., D.K. Singh & Dwivedi, S. (2018). Nano-fertilizers: A Novel Way for Enhancing Nutrient Use Efficiency and Crop Productivity. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(2), 3325- 3335. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.398
40. Rabiei, M., & Tousi Kahel, P. (2011). Effects of nitrogen and potassium fertilizer levels on nitrogen use efficiency and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop after rice in Guilan region. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *42*(3), 605-615(In Persian with English Summary) 20.1001.1.20084811.1390.42.3.18.8
41. Rezvani Moghaddam, P., Seyedi, S.M., & Azad, M. (2014). Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). *Medicinal and Aromatic Plants*, *30*(2), 260-274. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.6196
42. Salvagiotti, F., Castellarin J.M., Miralles, D.J., & Pedrol, H.M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 113: 170–177. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003
43. Scott, N., Chen, H., & Cui, H. (2018). Nanotechnology Applications and Implications of Agrochemicals toward Sustainable Agriculture and Food Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66* (26), 6451-6456. https:// 10.1021/acs.jafc.8b00964
44. Sedri, M.H., Golchin, A., Mirkhani, R., Fieziasl, V., & Sioseh-mardeh, A. (2017). Effect of nitrogen application management on nitrogen use efficiency in rainfed wheat using 15N Isotope. *Iranian Journal of Soil Research*, *31*(1), 1-17. (In Persian with English Summary) https://10.22092/IJSR.2017.109931
45. Seyyedi, S.M., Khajeh-Hosseini, M., Rezvani Moghaddam, P., & Shahandeh, H. (2015). Relation between the increasing soluble phosphorus and nitrogen uptake and its effects on phosphorus harvest index of black seed. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *46*, 25–36. (In Persian with English Summary). https:// 10.22059/IJFCS.2015.54043
46. Sureshbabu, K., Amaresan, N., & Kumar, K. (2016). Amazing Multiple Function Properties of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in the Rhizosphere Soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *5*(2), 661-683. https:// 10.20546/ijcmas.2016.502.074.
47. Sumbul, A., Ansari, R.A., Rizvi, R., & Mahmood, I. (2020). *Azotobacter*: A potential bio fertilizer for soil and plant health management. *Saudi Journal of Biological Science*, *27*(12), 3634–3640. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004
48. Tahmasbpour, B., Younessi-Hamzekhanlu, M., Mahdavisafa, D., & Sabzi Nojadeh, M. (2017). Grain yield performance of *Carthamus tinctorius* L. cultivars under water deficient condition. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 235-243. https://innspub.net/grain-yield-performance-of-carthamus-tinctorius-l-cultivars-under-water-deficient-condition/
49. Tavakoli Kakhki, H., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Jahan, M., & Beheshti, S.A.R. (2020). Evaluation of Nitrogen Balance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cropping Systems of Iran. *Journal of Agroecology*, *12*(3), 523-540. (In Persian with English Summary) https:// 20.1001.1.20087713.1399.12.3.10.6
50. VtJnvnl,qrssMr, K., Snrcnr, N. K., PrlroN, W. L., & c.No ANornsoN, C. H. (1975). Effects of plant population and row spacing on sunflower agronomy. *Canadian Journal of Plant Science*, *55*, 491-499. https://doi.org/10.4141/cjps75-075
51. Warman, P.R., & Termeer, W.C. (2005). Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn and B content of crops and soils. *Bioresource Technology*, *96*(9), 1029-1038. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.014
52. Weih, M., Asplund, L., & Bergkvist, G. (2011). Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. *Plant and Soil*, *339*(1-2), 513-520. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0599-4
53. Weiss, E.A. (2000). Oilseed Crops. Blackwell Science Ltd, Second Edition, 364 pp. https://doi.org/10.1017/S0014479701331058
54. Wu, L., Yuan, S., Huang, L., Sun, F., Zhu, G., Li, G., Fahad, S., Peng, S., & Wang, F. (2016). Physiological mechanisms underlying the high-grain yield and high-nitrogen use efficiency of elite rice varieties under a low rate of nitrogen application in China. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1-12. https://10.3389/fpls.2016.01024
55. Yang, Y.C., Zhang, M., Zheng, L., Cheng, D.D., Liu, M., & Geng, Y.Q. (2011). Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. *Agronomy Journal*, 103(2): 479-485. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0343